

ДОКАЗАТЕЛЬНАЯ БАЗА И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В. Ф. Логинов,

гл. науч. сотрудник Института природопользования НАН Беларуси, академик НАН Беларуси, д-р геогр. наук, профессор

Проведен анализ полученных к настоящему времени результатов исследований изменений климата в глобальном и региональном масштабах. Большое внимание уделено оценке роли термического и динамического режима Северной Атлантики в формировании климата и экстремальных климатических явлений в северном полушарии, Европе и, в особенности, в Беларуси. Приведены аргументы в пользу современного антропогенного изменения климата и рассмотрены особенности его изменения, которые трудно или невозможно объяснить влиянием только парниковых газов. Рассмотрены дискуссионные проблемы, связанные с оценкой роли парниковых газов в изменении современного климата, и защитой климата в результате снижения их выбросы в атмосферу. Названы проблемы, требующие своего решения.

Analysis of the gained by now investigations results of climate change in global and regional scale has been carried out. Great attention has been paid to the assessment of thermal and dynamic mode role of North Atlantics in the formation of climate and extreme climate phenomena in northern hemisphere, Europe, and Belarus in particular. Arguments in favor of modern anthropogenic climate change have been provided and specificities of its variation have been regarded, that are hard or impossible to explain by the impact of greenhouse gases only. Discussion issues have been regarded referring to the assessment of greenhouse role in modern climate variation and climate protection due to their effluent into the atmosphere decrease. Challenges to be solved have been named.

В последние два года в мире усилилось скептическое отношение к достоверности полученных результатов об изменениях климата и климата будущего. Отмечается некая эрозия веры в глобальное потепление. Число американцев, которые верят в глобальное потепление, сократилось с 71 % в 2008 г. до 57 % в 2010 г. Опросы общественного мнения в США и Англии свидетельствуют об уменьшении числа жителей США и Англии, считающих, что глобальное потепление связано с человеческой деятельностью. Так, в Англии исследование BBC показало, что количество людей, считающих, что глобальное потепление, связанное с человеческой деятельностью, снизилось с 41 % в ноябре 2008 г. до 26 % в феврале 2009 г. [34]. Скептицизм населения, как правило, особенно усиливается после суровых зим. Безусловно, результаты опросов общественного мнения базируются в основном на мнении непрофессионалов и могут расходиться с мнением ученых-климатологов.

Начались нападки на Межправительственную группу по изменению климата, когда обнаружили некоторые ошибки в их прогнозах таяния Гималайских ледников и других оценках. Большие сомнения возникли относительно достоверности изменений климата в последнем тысячелетии, восстановленных Майклом Манном по косвенным данным (так называемая «хоккейная клюшка Манна»), а также информации об изменениях климата, полученной учеными Университета Восточной Англии (Норвич) [34]. Естественно, в процессах педалирования глобального потепления есть значительная политическая составляющая, связанная с продвижением интересов фирм развитых стран, занятых выпуском экологической техники и экологически чистых продуктов, а также уменьшением зависимости многих стран от углеводородных источников. Безусловно, очевидна и положительная сторона международного сотрудничества по защите климата, хотя оно требует политической воли стран

и огромных инвестиций в проект по охране глобального климата. Последнее могут позволить себе только развитые страны.

Определенное значение в выполнении этого проекта имеют политические пристрастия партий, например республиканцы в США в большинстве отрицательно относятся к идее снижения эмиссии парниковых газов.

В этой связи возникла необходимость в анализе полученных к настоящему времени результатов исследований изменений климата с разных позиций. При этом было важно обратить особое внимание на проблемные вопросы, а в отдельных случаях — на заблуждения, связанные с оценками и прогнозами изменений климата под влиянием естественных и антропогенных факторов, включая оценку роли термического и динамического режима Атлантического океана в формировании современных изменений климата северного полушария и, в особенности, климата Европы. Рассмотрим ряд аспектов этой сложной и дискуссионной проблемы. При этом используем ряд графических материалов МГЭИК [30–31], обратив внимание на те особенности глобальных и региональных изменений климата, которые редко обсуждаются в известных отчетах МГЭИК.

Аргументы и факты в пользу современного антропогенного изменения климата

1. Глобальное современное потепление климата оказалось самым мощным за исто-

рию инструментальных наблюдений: в северном полушарии рост температуры составил около 0,9 °С, а в южном — около 0,6 °С (рис. 1). Ошибки вышеуказанных оценок составляют ± 0,2 °С [7, 30, 31].

2. Скорость роста глобальной температуры в последние три десятилетия оказалась самой высокой за историю инструментальных наблюдений. Однако рост температуры поверхностного слоя Мирового океана в период с 1910 по 1945 гг. был близким в современному и составил около 0,5 °С (рис. 2).

3. Подавляющее число самых крупных среднегодовых аномалий температуры приходится на последний тридцатилетний период, 11 из 13 самых теплых лет отмечались после 1990 г. Согласно данным наблюдений, самыми теплыми годами после 1860-го были 1998, 2005 и 2007 гг. С 1976 г. средняя глобальная температура росла примерно в три раза быстрее, чем за последние 100 лет [30, 31].

4. Максимальный рост температуры отмечается в континентальных районах, что согласуется с теорией парникового потепления климата. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой, поэтому потепление должно быть более интенсивным в центре материка, особенно зимой и ночью, когда ослабляется вертикальная конвекция. На океанах поглощение прямой солнечной радиации происходит в поверхностном слое воды днем, а длинноволновой

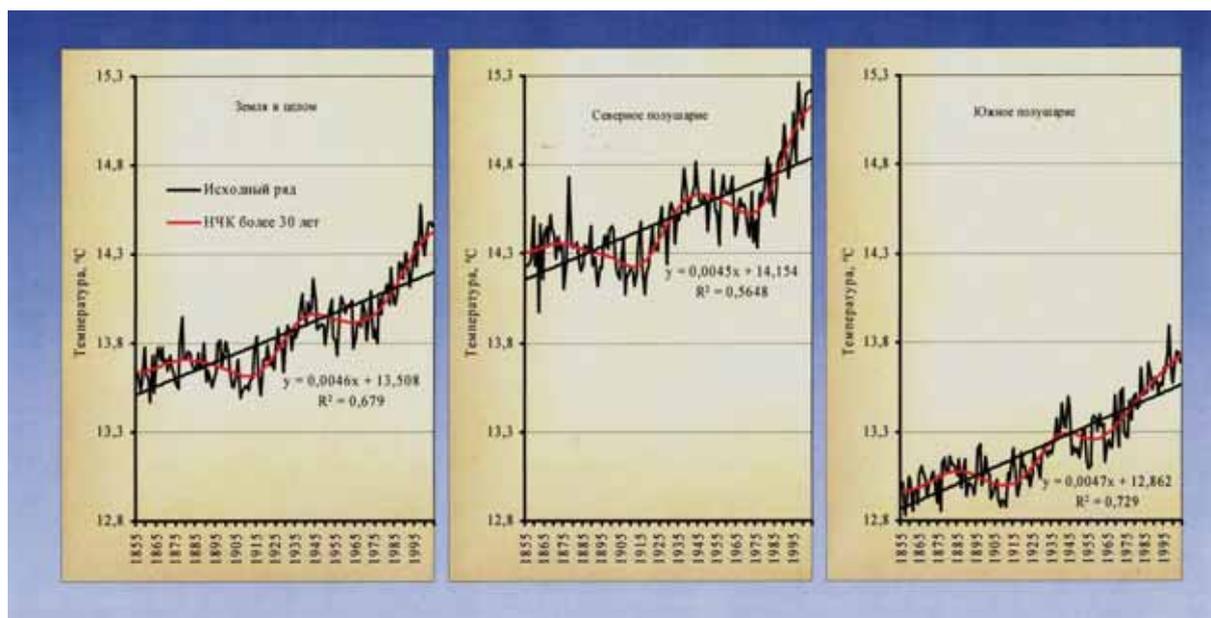


Рис. 1. Ход среднегодовой температуры поверхности Земли в целом, северного и южного полушарий

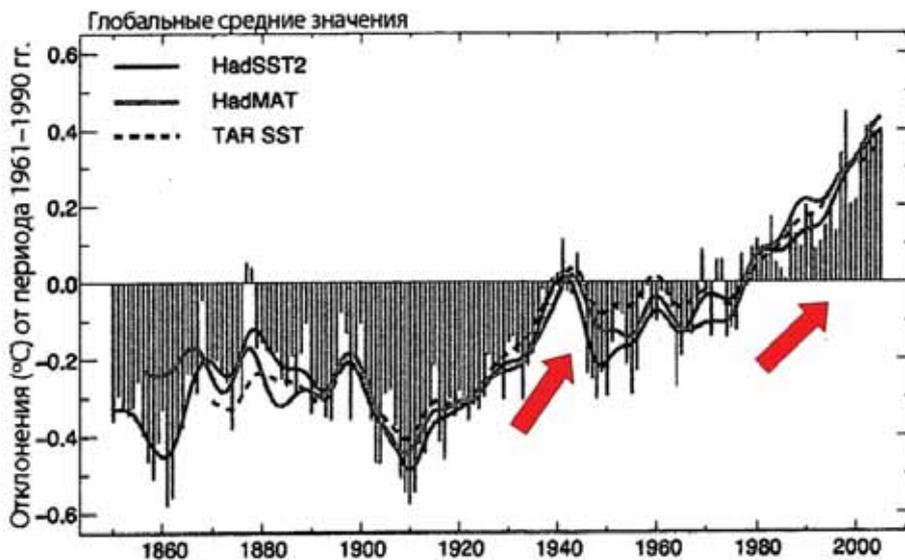


Рис. 2. Аномалии средней глобальной температуры поверхностного слоя океана с 1855 г. до настоящего времени по разным источникам [23]

в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и, следовательно, снижение температуры воды поверхности океана.

5. Ледовитость Северного Ледовитого океана и масса ледников сильно уменьшилась за последние два десятилетия [30, 31].

6. Модельные расчеты показывают, что при повышении содержания парниковых газов в атмосфере вертикальные температурные профили должны меняться таким образом, что потепление должно быть более выраженным в нижней части тропосферы, а выхолаживание — в стра-

тосфере. Экспериментальные данные это подтверждают.

7. В последние три десятилетия отмечается интенсивный рост содержания парниковых газов в атмосфере. Наиболее полные экспериментальные и модельные оценки, представленные в докладах МГЭИК, свидетельствуют, что парниковые газы являются важнейшим фактором современного потепления климата.

Таким образом, вышеизложенное позволяет считать, что парниковые газы, безусловно, являются важным фактором изменения климата. В последние три десятилетия наблюдается беспрецедентный рост их содержания в атмосфере за счет сжигания органического топлива и других причин, что не могло не отразиться на росте температуры на земном шаре.

Особенности изменений климата, которые трудно или невозможно объяснить влиянием парниковых газов

В качестве примера современного изменения климата рассмотрим изменения климата высоких широт (60–90° с. ш.), где, собственно, парниковая природа потепления климата должна быть выражена наиболее ярко. На рис. 3 хорошо показан циклический ход изменения температуры воздуха в высоких широтах на фоне небольшого положительного тренда. Средняя длительность цикла составляет 60–70 лет.

1. Интенсивный рост температуры в высоких широтах северного полушария в период с 1910–1915 гг. до 1940–45 гг., известный как потепление Арктики, сменился падением температуры до середины 1970-х гг. и последующим, самым интенсив-

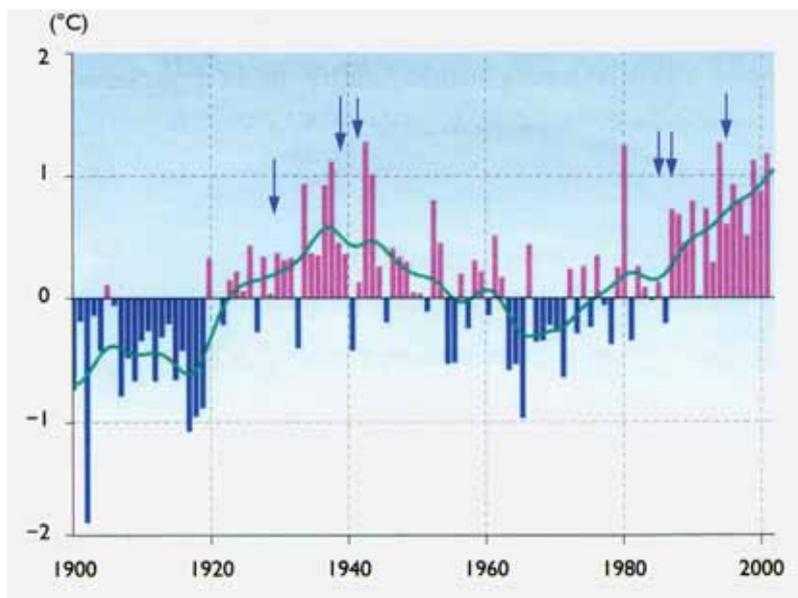


Рис. 3. Многолетний ход температуры воздуха в Арктике (60–90° с. ш.). Стрелками показаны годы суровых зим на территории Беларуси [8, 9]

ным ростом температуры за период инструментальных наблюдений. Именно в высоких широтах положительный тренд температуры, связанный с ростом парниковых газов, должен быть наиболее заметен, хотя данные, приведенные на рис. 3, не столь показательны в этом отношении, если сравнить их с данными на рис. 1 и 2.

Большой рост температуры в высоких широтах должен быть обусловлен существенным вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием воздуха вблизи земной поверхности, которая подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к концентрации нагревания в тонком приповерхностном слое воздуха.

2. Не вызывает сомнения возрастание экономических потерь в мировой экономике от неблагоприятных погодных и климатических явлений. Это может быть связано, в первую очередь, с ростом в последние несколько десятилетий национального богатства, населения и урбанизации территорий, информационных возможностей стран, а не только увеличением повторяемости погодных и климатических явлений.

Серьезная дискуссия идет по вопросу изменения повторяемости засух, наводнений, суровых и теплых зим и других экстремальных климатических явлений. Отмечается увеличение повторяемости ряда из них, например повторяемость теплых зим и засух, тогда как повторяемость некоторых других даже уменьшилась или осталась на прежнем уровне (тропические ураганы). Подробная информация об изменении повторяемости опасных метеорологических и климатических явлениях на территории Беларуси приведена нами в работе [11].

Рассмотрим повторяемость суровых зим, поскольку изменение их повторяемости в последние десятилетия трудно интерпретировать, исходя из парниковой природы текущего и предыдущего потепления климата, известного как потепление Арктики.

Временное распределение суровых зим в последнее столетие оказалось, на первый взгляд,

парадоксальным; их большая повторяемость, казалось бы, не должна приходиться на теплые эпохи. Такое распределение суровых зим можно понять, если в качестве их модулятора принять изменение теплосодержания в Северной Атлантике и, как следствие, атмосферной циркуляции.

Суровые зимы на ЕЧС, а также в ряде случаев в Сибири и Средней Азии, пришлось на период предыдущего потепления климата (1910–1945 гг.): 1928–1929, 1930–1931, 1932–1933, 1941–1942 гг. В Беларуси самые суровые зимы отмечались в 1928–1929, 1939–1940, 1941–1942 гг. [19]. Другая длительная эпоха суровых зим пришлось на 1960-е гг., когда наблюдалась Великая соленостная аномалия: 1962–1963, 1966–1967, 1968–1969 гг. [5, 6]. Связать суровые зимы с мощным извержением вулкана Агунг в 1963 г. нельзя, поскольку вулканический аэрозоль приводит к похолоданию климата в теплое время года [7].

Не исключено наступление новой эпохи суровых зим в Европе в конце 2010-х гг. Первые предвестники таких суровых зим уже появились. Они, вероятно, связаны с интенсивным таянием арктических льдов и увеличенным стоком северных рек в Северный Ледовитый океан, что приводит к **распреснению вод Северной Атлантики**, появлению новой соленостной аномалии и замедлению течений системы Гольфстрим. Более подробно этот вопрос обсудим далее.

Формирование экстремально теплых летних сезонов также может модулироваться Северной Атлантикой. Примером тому является жаркое лето 2010 г. в европейской части России,

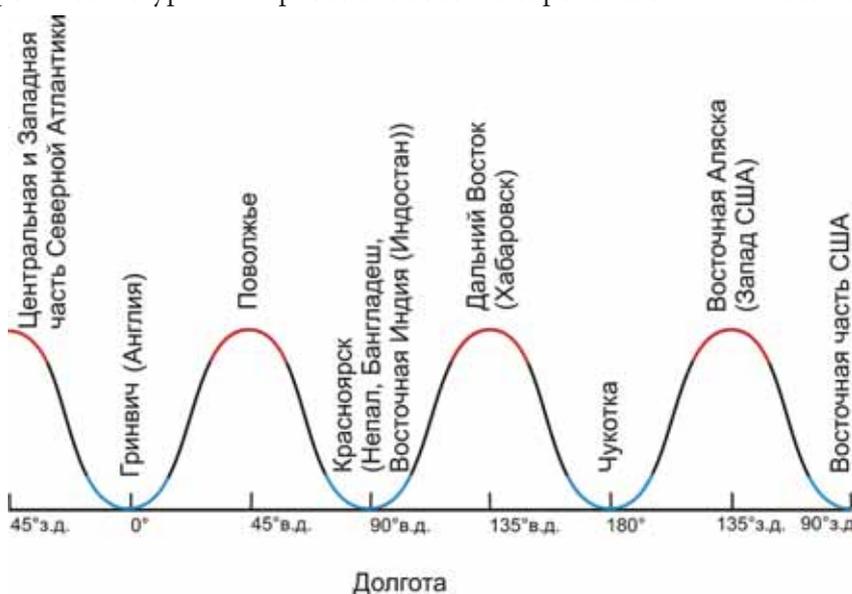


Рис. 4. Распределение ложбин и гребней летом 1972 г. в северном полушарии

восточных и центральных районах Беларуси и Украины.

Аналогом прошедшего лета является лето 1972 г. Анализ распределения температуры воды в Северной Атлантике и высотных гребней в северном полушарии в 1972 г. показал следующее. Редкое распределение температуры поверхностных вод в Северной Атлантике, а именно, устойчивая положительная аномалия у берегов Северной Америки и более южное положение высотного гребня на востоке и центре Северной Атлантики. Эта система аномалий температуры в июне 1972 г. сместилась к востоку. Причиной тому стало резкое изменение направления господствующих в экваториальной стратосфере ветров.

Распределение ложбин и гребней летом 1972 г. в северном полушарии представлено на рис. 4. Подробное распределение гребней и ложбин, вероятно, наблюдалось и летом 2010 г.

3. В последние годы скорость роста глобальной температуры несколько замедлилась (рис. 5), тогда как скорость роста содержания парниковых газов в атмосфере возросла.

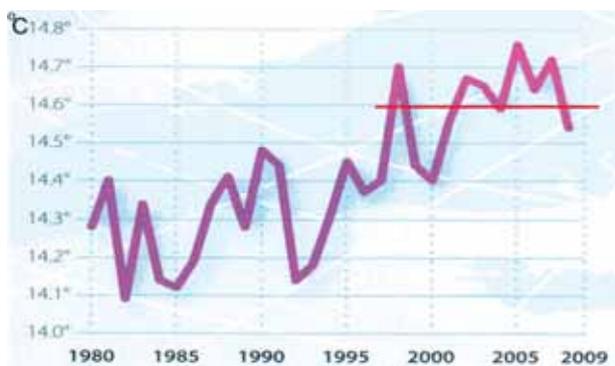


Рис. 5. Глобальная средняя температура по данным NASA

Как видно из рис. 5, начиная с 2001 г., рост глобальной температуры замедлился, тогда как скорость роста содержания углекислого газа в атмосфере возросла не менее чем на 20 % по сравнению с 1990-ми гг., а его общее содержание в атмосфере превысило 380 ppm; суммарное содержание углекислого газа в атмосфере в последние годы составило около 27 млрд т, тогда как в 1990-е гг. оно было, как минимум, на 2 млрд т меньше.

В изменении глобальной температуры наблюдаются резкие скачки, когда она за короткий период увеличивается на 0,4–0,5 °С. Последний скачок

температуры отмечался в период с 1992 по 1998 гг. Близкие по величине скачки глобальной температуры наблюдались во второй половине 1930-х и начале 1940-х гг., а также в конце 1970-х — начале 1980-х гг. Большие скачки температуры особенно заметны в высоких широтах (60–90 °С) в периоды с 1917 по 1923 гг. и во второй половине 1980-х гг. (см. рис. 3). Как правило, после резких скачков температура выходила на более высокий уровень, оставаясь там длительное время.

Резкие скачки температуры нельзя объяснить изменениями концентрации парниковых газов.

4. В многочисленных работах показано, что величины положительных трендов температуры, связанные с ростом содержания парниковых газов в атмосфере, растут от экватора к полюсу. В то же время результаты работы Б. Г. Шерстюкова говорят о более сложном характере изменения величины трендов температуры (рис. 6) [2, 6].

Величины положительных трендов температуры оказались максимальными в широтной зоне 50–60° с. ш., по крайней мере, на территории России, тогда как, исходя из теории климата, положительные тренды температуры должны увеличиваться от экватора к полюсу. Выявленные особенности изменений величины трендов температуры можно объяснить изменениями общей циркуляцией атмосферы и океана.



Рис. 6. Зональное осреднение радиационного баланса (B) и трендов температуры при облачной (1) и безоблачной (< 2 баллов) погоде в зависимости от широты (1966–2005 гг.)

Распределение среднемесячных аномалий температуры воздуха в моменты интенсивного теплообмена океана и атмосферы представлены на рис. 7 [18].

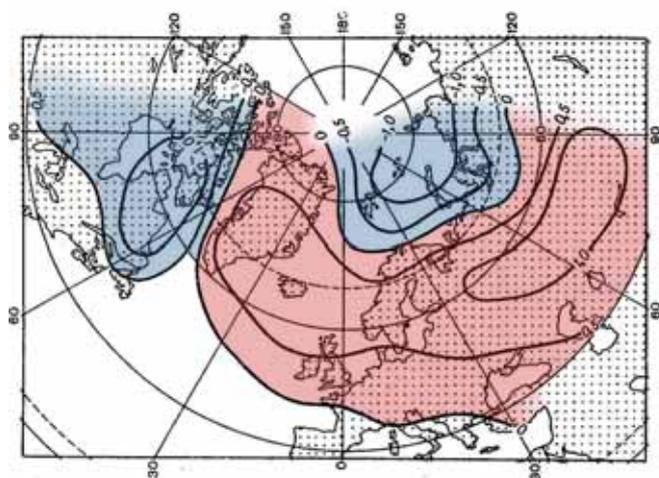


Рис. 7. Распределение среднемесячных аномалий температуры воздуха (°C) в моменты интенсивного теплообмена между океаном и атмосферой в Северной Атлантике

Максимальная среднемесячная положительная аномалия температуры наблюдается в средних и высоких широтах Западной Европы и несколько южнее в Западной Сибири (55–45° с. ш.). Таким образом, пространственное распределение среднемесячных аномалий температуры воздуха в моменты интенсивного теплообмена океана и атмосферы в Северной Атлантике напоминает зависимость от широты величин положительных трендов температуры на территории России в 1966–2005 гг. Если сравнить данные, приведенные на рис. 6 и 7, то можно увидеть, что интенсивный теплообмен океана и атмосферы в Северной Атлантике обеспечивает максимальные аномалии температуры в интервале широт 45–60° с. ш. На этих широтах наблюдаются и наибольшие значения положительных трендов температуры. С увеличением широты аномалии температуры становятся отрицательными (см. рис. 7) и замедляется рост величины положительных трендов температуры на территории России (см. рис. 6).

В Западной Европе максимальные величины трендов

температуры в последние десятилетия должны наблюдаться на 10–15° севернее, чем в Восточной Европе и Сибири, если судить о пространственном распределении аномалий температуры в моменты интенсивного теплообмена океана и атмосферы (см. рис. 6).

Индекс возмущенности зонального потока циркуляции, пропорциональной напряженности меридиональной циркуляции, числу и мощности барических образований на фиксированной широте в средней тропосфере (500 гПа), имеет наибольшие значения в зоне 55–70° с. ш., то есть практически там, где величина трендов температуры максимальная [20].

Максимальные значения величины трендов температуры вблизи 60° с. ш. могут определяться и формальными причинами: межширотное распределение зонально-осредненных величин среднего квадратического отклонения колебаний значений температуры имеет максимальное значение вблизи 60° с. ш.

5. Если концентрация всех парниковых газов будет оставаться на постоянном уровне, дальнейшее потепление около 0,1 °C за десятилетие можно ожидать в силу большого времени жизни парниковых газов в атмосфере (низкой скорости «вымывания» парниковых газов) и инерционности важных звеньев климатической системы — Мирового океана, криосферы и биосферы [7, 23].

6. Временной ход изменений глобальной температуры, напоминающий хоккейную клюш-

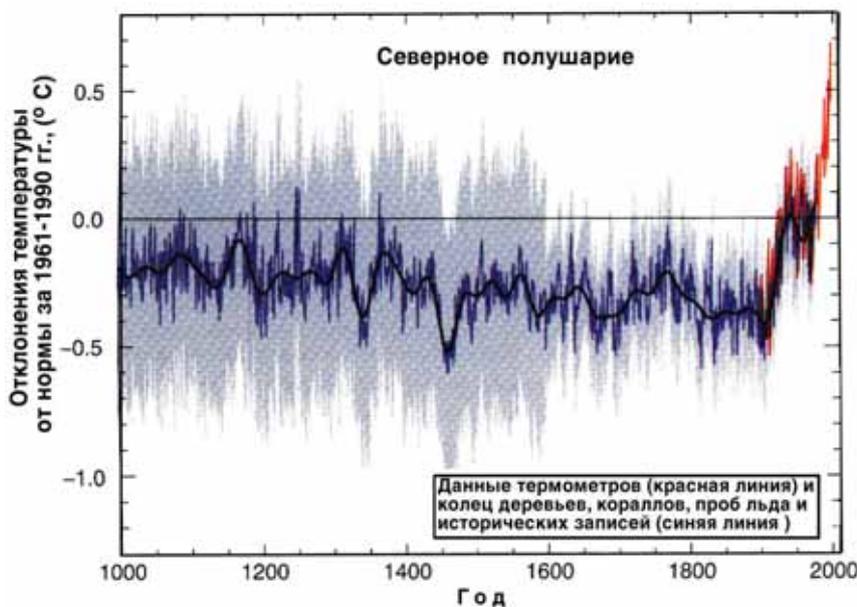


Рис. 8. Отклонение температуры от нормы в последнем тысячелетии

ку (рис. 8), требует дополнительных обоснований [30]. Ряд специалистов [34] считает, что раннее средневековье (X–XII вв.) было теплее современного периода, а в течении малого ледникового периода (1645–1850 гг.) температура была на 2 °С ниже. Существенных и долгопериодных вариаций содержания парниковых газов в период с 1000 до 1850 гг. не отмечалось, а климат изменялся весьма существенно (аномалии температуры для отдельных эпох колебались от +1 до –2 °С).

7. Амплитуда циклических квазивековых колебаний климата только немного уступают величине положительного тренда температуры (особенно для температуры Мирового океана) (см. рис. 1, 4, 9). Наблюдаемые 60–70-летние циклы в изменении глобальной температуры могут являться следствием ряда причин: автоколебаний в климатической системе, квазивековых колебаний солнечной активности, воздействием больших планет Сатурна и Юпитера, которые способны изменить среднегодовое расстояние от Земли до Солнца [7, 14, 28]. Однако требуются дальнейшие доказательства воздействия указанных причин на современные изменения климата. Амплитуда циклических короткопериодных (10–15-летних) колебаний также модулируется естественными причинами [7, 8]. Это приводит к тому, что скорость потепления, приписываемая влиянию парниковых газов, может уменьшиться или даже изменить знак — возникнет тенденция к похолоданию.

Рассмотрим возможные причины формирования долгопериодных колебаний в климатической системе. Одной из причин могут быть долгопериодные автоколебания, источником которых является поток тепла в экваториальных широтах океана, увеличивающий теплосодержание вод системы Гольфстрим. Это приводит к уменьшению объема льда в Арктическом бассейне, последующему распреснению вод в Северной Атлантике, появлению отрицательной соленостной аномалии и похолоданию климата. Идея о наличии автоколебаний в системе «океан — атмосфера» высказана академиком В. В. Шулейкиным более 50 лет назад [27]. Позже ее поддержали А. И. Дуванин, А. Л. Кац, А. И. Угрюмов, Н. И. Яковлева, В. Я. Сергин и С. Я. Сергин и др. [2–4, 17, 21, 22, 25, 27, 28]. Однако пока проблема решена на феноменологическом уровне.



Рис. 9. Летняя температура за период инструментальных наблюдений на территории Беларуси

Начало этой цепочки событий может быть положено разными естественными физическими причинами, например, солнечной активностью, долгопериодным приливом в океане, нутационными явлениями [7, 14]. Названные процессы испытывают квазипериодические колебания со средней продолжительностью 6–7, 10–12, 18–19, 70–100 лет и др. Имеется также случайная составляющая в изменении любых природных процессов. Так, тесные внутрирядные связи

могут обеспечить циклические составляющие в природных процессах разной продолжительности.

Отмечается разновременность начала современного потепления климата и большие различия скоростей роста температуры в разные сезоны года в Беларуси. Так, современное потепление климата началось зимой и весной, с запаздыванием около 10 лет — летом, и только несколько лет назад осенью. Эти особенности трудно объяснить только ростом парниковых газов. Наиболее ярко потепление выражено зимой, тогда как потепление 30-х гг. прошлого столетия — в теплое время года [7, 9].

Роль океана в формировании климата

В зависимости от временного масштаба океан может быть внешним или внутренним фактором климатических изменений [7]. Океан обладает большой «памятью», тогда как атмосфера — нет.

Рассмотрим роль океана в формировании долгопериодных аномалий температуры более подробно.

Запас тепла в 3-метровом слое океана равен теплоемкости всей атмосферы, но скорость преобразования энергии в атмосфере во много раз превышает ее трансформации в океане [6]. Океан медленно накапливает тепло и является инерционной средой. Как показано в многочисленных работах, Северная Атлантика в значительной степени оказывает влияние на климат не только Европы, но и всего северного полушария [2, 5, 6, 8, 14, 15, 17, 18, 22, 24, 25, 27, 32].

Северная Атлантика является энергоактивной областью глобального значения: занимая 11 % площади поверхности Мирового океана, она отдает в атмосферу 19 % всего тепла, поступающего на Землю [6].

Таким образом, по мнению авторов работы, Северная Атлантика контролирует количество теплоты в атмосфере над средними и высокими широтами Северного полу-

шария, а «естественные многолетние колебания теплового и динамического режимов Мирового океана и атмосферы весьма значительны и наверняка превосходят современные предполагаемые глобальные антропогенные изменения климата» [6].

Интенсивное таяние арктических льдов и увеличивающийся сток рек в последние 10–15 лет привели, вероятно, к появлению очередной Великой соленостной аномалии в Северной Атлантике и уменьшению интенсивности течений системы Гольфстрим. Это привело к аномальной погоде в ряде районов северного полушария в последние годы.

Один из примеров влияния Северной Атлантики на климат Беларуси приведен в работах [8, 9, 10], где рассмотрены тренды температуры для каждого дня года за период с 1966 по 2008 гг. (рис. 10). Наибольшая величина трендов температуры приходится на середину января, а также конец июля — август, а в мае и ноябре величины трендов температуры — слабые положительные или отрицательные. Максимальные величины трендов совпадают с максимальной адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим. Это свидетельствует о том, что система Гольфстрим модулирует величину трендов температуры и только влиянием парниковых газов нельзя объяснить многие особенности современных изменений климата [8, 9].

Другим примером является оценка изменений тесноты внутрирядных связей температуры соседних месяцев (рис. 11). Большая теснота внутрирядных связей приходится на

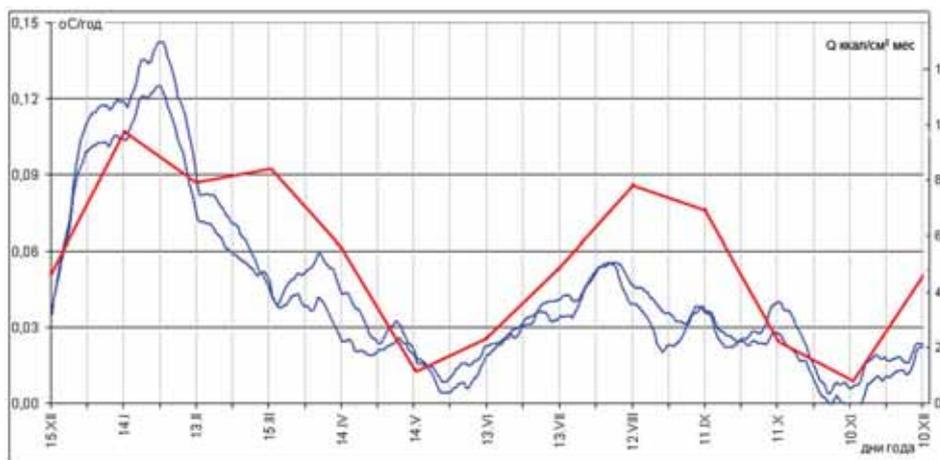


Рис. 10. Колебание величины трендов температуры в Беларуси в различные дни года в 1966–2008 гг. (адвекция тепла течениями системы Гольфстрим на Кольском меридиане, сглаженные тренды ночной и дневной температуры)

январь-февраль, февраль-март и июль-август, то есть на периоды максимальной адвекции тепла течениями системы Гольфстрим (см. рис. 10).

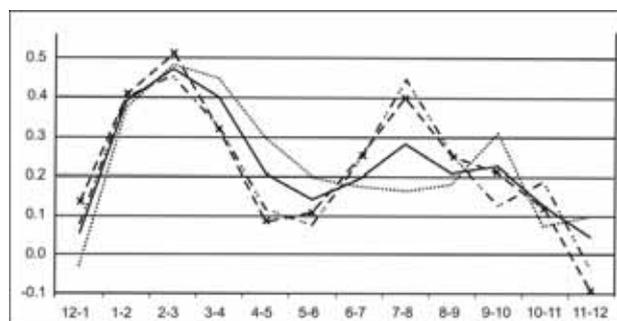


Рис. 11. Коэффициенты корреляции температуры соседних месяцев года для различных периодов времени: — 1881–2008, — 1881–1944, - - - — 1945–2008, — * — 1966–2008.

Аномалии температуры соседних месяцев часто обусловлены однородным типом цирку-

ляции, что является следствием инерционности крупномасштабных полей температуры подстилающей поверхности и, в первую очередь, океана. Положительная альбедная обратная связь поддерживает ранее сформировавшуюся аномалию температуры: образовавшийся снежный покров способствует понижению температуры в последующем месяце и, наоборот, ранее таяние снега усиливает положительную аномалию температуры. Собственно, такие обратные связи и определяют тесные положительные связи температуры февраля и марта.

Для показателей атмосферной циркуляции и скорости течений системы Гольфстрим обнаружена четкая полугодовая цикличность с максимальными скоростями в январе и июле, а изменения температуры воды в Северной Атлантике в значительной степени определяется адвекцией тепла течениями [8–10].

Таблица 1

Потребность в энергоресурсах в Китае и Индии в соответствии с современной политикой развития экономики, млн т нефтяного эквивалента

	1990 г.	2000 г.	2005 г.	2015 г.	2030 г.	2005–2030 гг. (%)
Китай	874	1121	1742	2851	3819	3,2
Уголь	534	629	1094	1869	2399	3,2
Нефть	116	230	327	543	808	3,7
Газ	13	23	42	109	199	6,4
Ядерное топливо	0	4	14	32	67	6,5
Гидроэнергетика	11	19	34	62	86	3,8
Биомасса и отходы	200	214	227	225	227	0
Возобновляемые источники	0	0	3	12	33	9,9
Индия	320	459	537	770	1299	3,6
Уголь	106	164	208	330	620	4,5
Нефть	63	114	129	188	328	3,8
Газ	10	21	29	48	93	4,8
Ядерное топливо	2	4	5	16	33	8,3
Гидроэнергетика	6	6	9	13	22	3,9
Биомасса и отходы	133	149	158	171	194	0,8
Возобновляемые источники	0	0	1	4	9	11,7
Общее	1194	1580	2279	3622	5119	3,3
Уголь	640	794	1302	2199	3018	3,4
Нефть	178	345	456	730	1136	3,7
Газ	23	44	71	157	292	5,8
Ядерное топливо	2	9	18	48	100	7,0
Гидроэнергетика	17	26	43	75	109	3,8
Биомасса и отходы	334	363	385	396	422	0,4
Возобновляемые источники	0	0	4	16	41	10,2

Таблица 2

Выбросы CO₂ от энергетического сектора по регионам для различных сценариев, млрд т

	Современная политика развития энергетики			Активная энергетическая политика по уменьшению выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ		Сценарии интенсивного экономического роста (более сильный рост по сравнению с современным сценарием)	
	2005 г.	2015 г.	2030 г.	2015 г.	2030 г.	2015 г.	2030 г.
Организация экономического сотрудничества и развития	12,8	14,1	15,1	13,2	12,5	13,9	14,6
Северная Америка	6,7	7,5	8,3	7,2	7,1	7,5	8,1
США	5,8	6,4	6,9	6,2	6,0	6,3	6,7
Европа	4,0	4,2	4,5	3,8	3,5	4,3	4,4
Тихий океан	2,1	2,3	2,3	2,2	1,9	2,2	2,1
Страны с переходной экономикой	2,5	3,0	3,2	2,9	2,8	3,0	3,2
Россия	1,5	1,8	2,0	1,7	1,7	1,8	2,0
Развивающиеся страны	10,7	16,4	22,9	15,2	17,9	17,4	26,3
Китай	5,1	8,6	11,4	8,1	8,9	9,5	14,1
Индия	1,1	1,8	3,3	1,6	2,4	1,9	3,9
Остальные страны Азии	1,4	2,0	2,7	1,8	2,1	2,0	2,6
Ближний Восток	1,2	1,8	2,5	1,7	2,0	1,8	2,7
Африка	0,8	1,0	1,4	0,9	1,1	1,0	1,3
Латинская Америка	0,9	1,2	1,6	1,1	1,3	1,2	1,6
Мир в целом	26,6	34,1	41,9	31,9	33,9	34,9	44,8
<i>Европейский союз</i>	3,9	4,0	4,2	3,6	3,2	4,1	4,2

Проблемы, требующие своего решения

Назовем без дополнительных комментариев следующие проблемы.

1. Не решены проблемы создания совершенной системы управления климатическими данными, включая данные об изменении климатообразующих факторов. Неполнота данных сдерживает дальнейшее развитие теории климата.

2. Дальнейшего усовершенствования требуют климатические модели в части их разрешения, более полного корректного учета обратных связей в климатической системе; интерактивного взаимодействия океана, атмосферы, биосферы, криосферы; учета «малых» климатообразующих факторов и др.

3. Представление о начале проявления парникового эффекта с момента индустриализации, по мнению К. С. Лосева [13], должно быть пересмотрено. Вырубка лесов, а следовательно, рост содержания парниковых газов начали еще во время неолитической революции. Вырубка лесов приводит к снижению способности есте-

Таблица 3

Пятерка крупных стран-иммитантов по выбросам CO₂ в энергетическом секторе при современной политике развития энергетики

	2005 г.		2015 г.		2030 г.	
	млрд т	ранг	млрд т	ранг	млрд т	ранг
США	5,8	1	6,4	2↓	6,9	2 =
Китай	5,1	2	8,6	1↑	11,4	1 =
Россия	1,5	3	1,8	4↓	2,0	4 =
Япония	1,2	4	1,3	5↑	1,2	5 =
Индия	1,1	5	1,8	3↑	3,3	3 =

ственных лесных экосистем выводить избыток парниковых газов из атмосферы.

Инженерное управление биотой менее эффективное, чем биотическое. Человек только частично может подкорректировать законы развития биосферы. Эффективное инженерное управление климатом через регулирование источников и стоков парниковых газов пока проблематично, поскольку общество продолжает

развиваться в сторону безудержного роста потребления природных ресурсов и энергопотребления. В ближайшие два-три десятилетия содержание парниковых газов (ПГ) будет расти, несмотря на громкие заявления о необходимости охраны климата. Примером тому являются страны-гиганты Китай и Индия (табл. 1 и 2) [29]. Можно полагать, что темпы экономического развития сильно возрастут и у таких крупных стран, как Бразилия, Индонезия, Россия, Нигерия и др. Это также приведет к дополнительному росту содержания парниковых газов в атмосфере.

4. Остается дискуссионным вклад городских «островов тепла» в современное потепление климата. Этот вопрос подробно изложен нами в работе [12].

Приведенные в работе результаты свидетельствуют о том, что если исключить эффект урбанизации в приростах сумм температур в крупных городах юга Беларуси, то достаточных оснований для выделения четвертой агроклиматической зоны не просматривается. Привлечение климатической информации по сопредельной стране — Украине — показало, что суммы температур на станциях, расположенных на севере Украины (Ковель, Сарны, Овруч и Чернигов), оказались даже ниже, чем на метеостанциях крупных городов южной части Беларуси (Брест, Пинск, Гомель, Мозырь). Это является дополнительным аргументом в пользу вышесказанного.

Оценки эффекта урбанизации, полученные с помощью статистического моделирования сумм положительных температур выше 0, 5, 10 и 15 °С за 1986–2005 гг., базировались на установленной нами близкой к функциональной зависимости термических показателей от широты, долготы и абсолютной высоты местности. Отклонения от расчетных значений (остатки регрессии) имеют положительные или отрицательные значения. Наибольшие отрицательные аномалии фиксировались на станциях Нарочь, Полесская, Брагин, Березинский заповедник и приурочены к крупным водоемам, массивам торфяников и лесов, а положительные аномалии — к крупным городам. Средние значения температур воздуха в крупных городах Беларуси больше, чем в сельской местности (малых городах) на 0,24–0,29 °С, то есть эффект урбанизации (островов тепла) в среднегодовом потеплении климата Беларуси

(около 1,1 °С) за последние 20–30 лет весьма существенен.

5. Большая неопределенность величин вклада различных радиационных факторов на климатическую систему.

Уровень научной неопределенности влияния радиационных факторов на климат остаются высокими. Исключения составляют оценки влияния на климат парниковых газов. Удовлетворительный уровень знаний существует по вопросу влияния озона на климат. Низкий уровень понимания относится к прямому и косвенному (через образование дополнительной облачности) влиянию аэрозолей на климат, а также солнечной активности на климат.

До сих пор имеются существенные различия сценариев изменения концентрации парниковых газов в атмосфере и большой разброс (1–6 °С) величин прогнозируемого роста глобальной температуры к концу столетия. Средняя оценка роста глобальной температуры к концу текущего столетия составит 2–3 °С [30, 31].

Таким образом, несмотря на то, что доказательную базу МГЭИК создавало более 1500 лучших ученых из разных стран мира, по мнению не менее многочисленной группы ученых (экспертов), она пока не является достаточной и требует существенного дальнейшего развития.

Нет оснований подвергать сомнению высокую научную квалификацию членов МГЭИК, хотя было бы желательно привлечение в состав этой группы ученых, придерживающихся несколько иных точек зрения на сущность проблемы. Главной причиной дискуссионности обсуждаемой проблемы остается ее чрезвычайная сложность. Это не позволяет надеется на ее скорое решение.

Литература:

1. Бышев, В. И. О годовых и полугодовых колебаниях некоторых характеристик приземного слоя атмосферы. — Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1968, т. 4. — № 5. — С. 540–547.
2. Дуванин, А. И. О модели взаимодействия между макропроцессами в океане и атмосфере // Океанология, 1968, т. 8., вып. 4. — С. 571–580.
3. Кац, А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. — Л.: Гидрометиздат, 1960. — 270 с.
4. Кац, А. Л. О цикличности в экваториальной стратосфере и взаимосвязи ее с общей циркуляци-

ей атмосферы // Метеорология и климатология. — 1975. — № 12. — С. 3–13.

5. Лаппо, С. С. К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Иссл. процессов взаимодействия океана и атмосферы. — М., 1984. — С. 125–129.

6. Лаппо, С. С., Соков, А. В., Терещенков, В. П., Добролюбов, С. А. Океан и колебания климата // Российская наука: выстоять и возвратиться, Межд. Научн. Фонд РФФИ. — М., 1997. — С. 245–251.

7. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. — Минск: ТетраСистемс, 2008. — 496 с.

8. Логинов, В. Ф. Влияние Атлантического океана на величину трендов температуры в период современного потепления // География и природные ресурсы. — 2010. — № 3. — С. 15–25.

9. Логинов, В. Ф. Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых ситуаций экономики (сельское и водное хозяйство). — Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. — 151 с.

10. Логинов, В. Ф., Волчек, А. А., Микуцкий, В. С., Шешко, Н. Н., Шубская, Ю. А. Полугодовая океаническая модуляция величин трендов температуры в период последнего потепления климата // Природопользование. — 2009. — № 15. — С. 166–174.

11. Логинов, В. Ф., Волчек, А. И., Шпока, И. Н. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси. — Минск: Беларуская навука, 2010. — 130 с.

12. Логинов, В. Ф., Коляда, В. В. Влияние урбанизации на увеличение термических ресурсов юга Беларуси // Природопользование. — 2010. — № 18.

13. Лосев, К. С. Мифы и заблуждения в экологии. — М.: Научный мир, 2010. — 224 с.

14. Максимов, И. В. Географические силы и воды океана. — Л., 1970.

15. Марчук, Г. И. Численное решение динамики атмосферы и океана. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 364 с.

16. Молодых, В. А., Логинов, В. Ф. Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, 1984, вып. 471. — С. 86–93.

17. Мусаелян, Ш. А. О природе некоторых сверхдлинных атмосферных процессов. — Л., 1979.

18. Николаев, Ю. В. Роль крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в формировании аномалий погоды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — 52 с.

19. Саонов, Б. И. Суровые зимы и засухи. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 240 с.

20. Саонов, Б. И., Логинов, В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969. — 97 с.

21. Сергин, С. Я., Сергин, В. Я. Системный анализ проблемы больших колебаний климата и одедедения Земли. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978. — 279 с.

22. Серяков, Е. И. Долгосрочные прогнозы тепловых процессов в Северной Атлантике. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. — 200 с.

23. Силвер, Дж. Глобальное потепление. — М.: ЭКСМО, 2009. — 336 с.

24. Смирнов, Н. П. Сезонные вариации в деятельности системы Гольфстрим // Проблемы Арктики и Антарктики, 1966, вып. 22. — С. 43–51.

25. Угрюмов, А. М. Тепловой режим океана и долгосрочные прогнозы погоды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 250 с.

26. Шерстюков, Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. — Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ — МЦД», 2008.

27. Шулейкин, В. В. Физика моря. — М., 1968.

28. Яковлева, Н. И. К вопросу о причине квазипериодических колебаний климата. — Тр. ГГО, 1968, вып. 236, С. 35–44.

29. Argiri Maria Eney Trends in China and India. International Journal of Environmental Consumerism, vol. 4, Issues 7 and 8, January-December, 2008, p. 27–36.

30. Climate Change 2001, IPCC, WMO/UNEP Cambridge Univ. press 2001.

31. CLIVAR Initial Implementation Plan/ WCRP №103, WMO/TD No. 869 June, 1998, 314 p.

32. Climate Change 2007. The Physical science basis. WMO, UNEP, 2007, 142 p.

33. Dickson R. R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A. J. The “Great Salinity Anomaly” in the Northern North Atlantic 1968–1982 // Progr. in Oceanogr. 1988. V. 20. P. 103–151.

34. Tollefson J. An erosion of trust? Nature, vol. 466, 1 July 2010, P. 24–26.